

## ZACHMURZENIE I BURZE W ASPEKCIE EKSTREMALNYCH ZDARZEŃ ATMOSFERYCZNYCH

*Dorota Matuszko*

### Cloudiness and thunderstorms in the context of extreme atmospheric events

**Abstract:** The paper discusses cloudiness in the context of the occurrence of extreme events using records from Krakow (1951–2012). The variables analysed included the maximum cloud cover, the number of cloudy and overcast days, and the structure of cloud cover. The study also analysed the numbers of days with the *Cumulonimbus* cloud and a thunderstorm in Krakow and its environs using data from the stations at Gaik-Brzezowa and Łazy (1991–2012). The number was found to have increased, especially in the cool half of the year, which may be related to the current climatic warming. However, the increase in the number of days with a thunderstorm was greater than in that with the *Cumulonimbus* cloud.

**Keywords:** extreme weather events, extreme climate phenomena, cloudiness, thunderstorms

**Zarys treści:** W artykule omówiono wielkości charakteryzujące zachmurzenie w aspekcie wystąpienia zdarzeń ekstremalnych, na podstawie danych z Krakowa (lata 1951–2012). Przedstawiono maksymalne wartości zachmurzenia, liczbę dni pochmurnych i całkowicie zachmurzonych oraz strukturę zachmurzenia. Dokonano również analizy liczby dni z chmurą *Cumulonimbus* i burzą w Krakowie i okolicach, na podstawie danych ze stacji w Gaiku-Brzezowej i Łazach (lata 1991–2012). Stwierdzono wzrost częstości występowania dni z chmurą *Cumulonimbus* i burzą, szczególnie w chłodnej części roku, co prawdopodobnie ma związek z współczesnym ociepleniem klimatu. Wzrost liczby dni z burzą jest jednak mniejszy niż wzrost częstości występowania chmur *Cumulonimbus*.

**Słowa kluczowe:** zdarzenia ekstremalne, zjawiska ekstremalne, zachmurzenie, burze

## Wprowadzenie

W literaturze klimatologicznej istnieje wiele definicji zdarzeń i zjawisk ekstremalnych (Kaszewski i Flis 2014). Można je rozpatrywać jako wartości skrajne (maksymalne i minimalne) określonego elementu meteorologicznego (*Słownik meteorologiczny* 2003), ale także w aspekcie zagrożenia i szkód jakie powodują (Warakomski 1997; Lorenc i in. 2012).

Zachmurzenie w przeciwieństwie do opadów czy temperatury powietrza nie stanowi bezpośredniej przyczyny wystąpienia ekstremalnych zdarzeń pogodowych, których skutkiem mogą być powodzie, susze, długotrwałe przymrozki czy huragany. Wygląd chmur będących wizualnym wskaźnikiem stanu atmosfery i procesów w niej zachodzących, może jednak wyjaśnić pojawienie się groźnych zdarzeń atmosferycznych lub być zapowiedzią ich wystąpienia (Matuszko i Piotrowicz 2012).

Długotrwały brak bezpośredniego promieniowania słonecznego w okresie wegetacyjnym związany z dużym zachmurzeniem hamuje wzrost i rozwój roślin zielonych, powodując nieurodzaj (Radomski 1980). Kilkudniowe opady ciągłe z chmur *Nimbostratus*, którym towarzyszą komórki burzowe chmury *Cumulonimbus* są często przyczyną powodzi (Matuszko 2007). Długotrwałe zaleganie chmur warstwowych całkowicie pokrywających niebo niekorzystnie oddziałuje na samopoczucie ludzi (Błażejczyk i Kunert 2011) oraz powoduje większe niż przy małym zachmurzeniu zużycie energii elektrycznej (Preś 2007). Niskie chmury *Stratus* połączone z mgłą ograniczają widzialność i bywają często przyczyną wypadków drogowych i lotniczych (Jaferník i in. 2000). Utrzymująca się latem przez wiele dni pogoda bezchmurna lub z małym zachmurzeniem prowadzi do braku opadów i wystąpienia suszy. Bezchmurne niebo wiosennej lub jesiennej nocy może się przyczynić do powstania przygruntowych przymrozków i spowodować znaczne straty w rolnictwie (Radomski 1980). Rozbudowane pionowo chmury *Cumulus*, przy sprzyjających warunkach atmosferycznych mogą przekształcić się w *Cumulonimbus* i doprowadzić do powstania burzy (Bielec-Bąkowska i Matuszko 2004–2005). Jej skutki w postaci ulewnego deszczu, opadu gradu lub silnego wiatru bywają groźne dla człowieka i wywołują ogromne zniszczenia, np. w rolnictwie (Koźmiński 1968; Koźmiński i Rytel 1963) lub utrudniają komunikację, szczególnie lotniczą (Jaferník i in. 2000). Silnie rozbudowane chmury *Cumulonimbus* są oznaką huraganowego, niszczycielskiego wiatru (*derecho*) związanego z mezoskalowymi układami konwekcyjnymi (Celiński-Mysław i Matuszko 2014).

Powyższe przykłady wskazują, że obserwacja zachmurzenia i znajomość jego wartości maksymalnych i minimalnych oraz zmienności w czasie i przestrzeni odgrywają ważną rolę w prognozowaniu pojawiania się ekstremalnych zdarzeń meteorologicznych.

Celem niniejszego opracowania jest przedstawienie wielkości charakteryzujących zachmurzenie w aspekcie wystąpienia zjawisk ekstremalnych, groźnych dla człowieka, przynoszących straty materialne. Na podstawie danych z Krakowa omówiono maksymalne wartości zachmurzenia, liczbę dni pochmurnych i całkowicie zachmurzonych, strukturę zachmurzenia oraz występowanie chmur *Cumulonimbus* stanowiących bezpośrednią przyczynę powstawania burzy.

W opracowaniu wykorzystano materiał źródłowy pochodzący z terminowych obserwacji stopnia zachmurzenia i rodzajów chmur wykonywanych w latach 1951–2012 na Stacji Naukowej Zakładu Klimatologii IGiGP UJ w Krakowie. Dokonano również analizy liczby dni z chmurą *Cumulonimbus* i burzą w Krakowie (lata 1951–2012) i okolicach na podstawie danych ze stacji w Gaiku-Brzezowej i Łazach (lata 1991–2012). Stopień zachmurzenia do 31 grudnia 1990 r. oceniano w skali od 0 do 10, a od 1 stycznia 1991 r. w skali od 0 do 8. W celu uzyskania porównywalnych danych wartości zachmurzenia ogólnego przeliczono na procenty, przyjmując niebo całkowicie zachmurzone jako 100%. Posługując się standardowymi metodami statystycznymi, obliczono średnie wartości zachmurzenia, liczbę dni pochmurnych i całkowicie zachmurzonych w poszczególnych miesiącach i latach. Do analizy trendu wykorzystano metodę regresji liniowej, której istotność badano, stosując współczynnik determinacji. Za dni pochmurne przyjęto te, w których średnie zachmurzenie dobowe jest >80%, a dni całkowicie zachmurzone to takie, w których średnie zachmurzenie dobowe jest równe 100% (Matuszko 2006).

## Wielkość zachmurzenia

W Krakowie średnia roczna wielkość zachmurzenia na podstawie danych z lat 1951–2012 wynosiła 66,5%. Jest to wartość podobna do średniego zachmurzenia na terenie Polski i krajów sąsiednich położonych na tej samej szerokości geograficznej (Matuszko 2009). W Krakowie w analizowanym wieloleciu średnie roczne zachmurzenie wahało się od wartości najniższej 56,1% w 1982 r. do najwyższej 77,7% w 1952 r. (tab. 1).

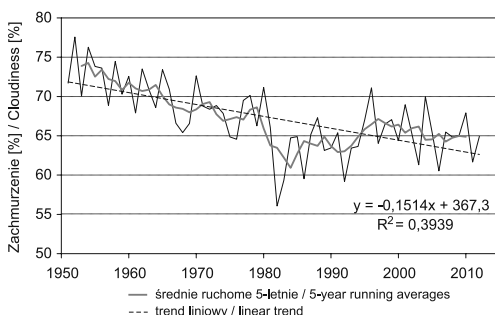
Początek drugiej połowy XX w. charakteryzuje duże zachmurzenie (powyżej 75%), z tendencją malejącą (ryc. 1). Ostatnie trzydziestolecie (lata 1982–2012) cechowało się niższymi wartościami średniego rocznego zachmurzenia, oscylującymi wokół 65%.

Średnio w roku największe zachmurzenie występuje w grudniu (77,6%), lecz w badanym wieloleciu najbardziej zachmurzonym miesiącem okazał się luty 1952 r. (97,8%). Maksymalne wartości zachmurzenia dla poszczególnych miesięcy przypadają przeważnie na lata 50. i 60. XX w., od lat 80. natomiast częściej niż w poprzednim okresie obserwuje się występowanie miesięcznych minimów zachmurzenia (tab. 1). Ekstremalnie małe zachmurzenie zanotowano w lipcu i wrześniu 2006 r.

Tab. 1. Średnie miesięczne, roczne, maksymalne i minimalne zachmurzenie [%] w Krakowie (1951–2012)

Table 1. Mean monthly, annual, maximum and minimum cloudiness [%] in Krakow (1951–2012)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok Year
Średnia Mean	74,2	73,3	67,6	64,2	62,4	62,6	60,0	57,1	60,1	64,2	75,4	77,6	66,5
Max	93,4	97,8	90,8	85,7	86,6	76,0	81,5	73,8	86,3	86,6	95,0	93,9	77,7
Rok Year	1953	1952	1964	1954	2010	1956, 1960	1980	1978	1996	1952	1958	1969	1952
Min	59,2	53,2	44,7	44,9	46,0	46,3	29,7	37,1	34,7	45,2	51,0	58,6	56,1
Rok Year	1985	1990	1982	1988	1986	1976	2006	1992	2006	1979	1982	1972	1982



Ryc. 1. Przebieg wieloletni średniego rocznego zachmurzenia [%] w Krakowie (1951–2012)

Fig. 1. Multi-annual course of the mean yearly cloudiness [%] in Krakow in the years 1951–2012

(poniżej 40% – np. lipiec lat 1992, 1994, 1995, 2006; wrzesień lat 1975, 2006), lecz były też takie, w których średnie miesięczne zachmurzenie przekraczało 80% (np. lipiec 1980 r., wrzesień lat 1952, 1988). Sierpień natomiast charakteryzuje mały zakres zmian średniego miesięcznego zachmurzenia w wieloleciu, dlatego w tym miesiącu z dużą pewnością można spodziewać się w Krakowie dni z małym zachmurzeniem i stabilną, słoneczną pogodą, kształtowaną przez Wyż Azorski. W sierpniu występuje największa w roku częstość sytuacji wyżowych bezadwekcyjnych oraz najmniejsza

mimo że średnio w przebiegu rocznym najmniej pochmurny jest sierpień. Na minimalną średnią wielkość zachmurzenia w 1982 r.łożyły się niezwykle małe zachmurzenie w marcu i listopadzie, które zazwyczaj są miesiącami z zachmurzeniem przekraczającym wartość średnią roczną (tab. 1). Porównując ekstremalne średnie miesięczne wartości zachmurzenia, okazuje się, że miesiącami najbardziej zmiennymi pod względem stopnia zachmurzenia są lipiec i wrzesień. W badanym wieloleciu zdarzały się lata, w których miesiące te charakteryzowały się bardzo małym zachmurzeniem

liczba dni z frontami atmosferycznymi (Matuszko 2009). Także jednak w tym miesiącu mogą się zdarzyć gwałtowne burze szczególnie wtedy, gdy Małopolska znajduje się w strefie bruzdy cyklonalnej.

W Krakowie okresem bardzo zmiennej pogody związanej ze zwiększonym zachmurzeniem jest przełom czerwca i lipca (tzw. monsun europejski i deszcze świętojańskie). Zdaniem Kaszewskiego (1983) i Kossowskiej-Cezak (2004) następuje w tym czasie zmiana układu cyrkulacji w Europie powodująca zwiększenie zachmurzenia w Polsce. Na koniec czerwca i lipiec przypada maksimum (5,6%) rzadko występującej w ciągu roku (średnio 3,3%) adwekcji powietrza z północy, sprzyjającej spiętrzaniu się powietrza na stokach Karpat i powstawaniu ulewnych opadów z chmur *Nimbostratus* i *Cumulonimbus* wywołujących powodzie na karpackich dopływach Wisły (Niedźwiedź 1981). Także w lipcu, najczęściej w roku, występują burze z silnymi porywami wiatru, opadami gradu oraz deszczu o dużym natężeniu (Matuszko 2007).

## Dni pochmurne i całkowicie zachmurzone

Występowanie dni pochmurnych (średnie zachmurzenie  $z > 80\%$ ) i całkowicie zachmurzonych (średnie zachmurzenie  $z = 100\%$ ) ma podobny przebieg roczny i wieloletni do przebiegu średniego rocznego zachmurzenia, ponieważ minima i maksima przypadają na ten sam okres (tab. 2, 3). Najwięcej takich dni występuje w grudniu, listopadzie, styczniu i lutym. Na lata 50. i 60. XX w., które charakteryzowały się największym zachmurzeniem w wieloleciu, najczęściej przypada również maksymalna liczba dni pochmurnych i całkowicie zachmurzonych. Szczególnie wyróżnia się rok 1952, o największym średnim rocznym zachmurzeniu, w którym aż w czterech miesiącach (lutym, wrześniu, październiku i listopadzie) wystąpiła

Tab. 2. Średnia miesięczna i maksymalna liczba dni pochmurnych w Krakowie (1951–2012)

Table 2. Mean monthly and maximum number of cloudy days in Krakow (1951–2012)

Dni pochmurne Cloudy days	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Suma Total
Średnia Mean	16	15	14	12	11	10	10	9	10	12	16	18	152
Max	29	27	27	22	22	18	20	18	21	22	27	29	218
Rok / Year	1953	1952	1964	1954	2010	1999	2003	1955	1952	1952 1958	1952	1964	1952

maksymalna w wieloleciu liczba dni pochmurnych (tab. 2). Luty 1952 r. odznaczał się wyjątkowo dużym zachmurzeniem. W miesiącu tym całkowite zachmurzenie utrzymywało się nawet kilkanaście dni. Był to miesiąc, w którym zanotowano najdłuższy w wieloleciu ciąg dni całkowicie zachmurzonych, trwający 2 tygodnie, od 11 do 24 lutego 1952 r. Podczas całego miesiąca tylko w ciągu jednego dnia zachmurzenie nie przekraczało 80%, a aż 25 dni było całkowicie zachmurzonych. Z tego powodu w lutym 1952 r. było tylko 10,2 godziny ze słońcem. Jest to minimalna wartość usłonecznienia miesięcznego przypadającego na luty od 1883 r., czyli od początku pomiarów heliograficznych w Krakowie (Matuszko 2009). Spośród miesięcy zimowych w lutym występowało średnio w wieloleciu najmniej dni (8 dni) całkowicie zachmurzonych (tab. 3), dlatego rok 1952 okazał się również pod tym względem wyjątkowy. Także inne miesiące tego roku wyróżniały się ekstremalnie dużym zachmurzeniem, w jesieni i zimie bowiem również zanotowano rekordowo dużą liczbę dni pochmurnych (powyżej 20 dni w miesiącu – styczniu, lutym, wrześniu, październiku, listopadzie, grudniu). Na przełomie lat 1952/1953 wystąpił najdłuższy w wieloleciu, 29-dniowy ciąg dni pochmurnych, trwający od 25 grudnia 1952 r. do 22 stycznia 1953 r. Dwa ekstremalnie długie ciągi dni pochmurnych wystąpiły także w 1952 r. i trwały od 28 października do 11 listopada i od 13 do 24 listopada.

W lecie znacznie mniej niż w pozostałej części roku bywa dni pochmurnych i całkowicie zachmurzonych, mniejsza jest też różnica między maksymalną a średnią liczbą takich dni w wieloleciu (tab. 2 i 3). Wyjątek stanowił lipiec 2003 r., w którym wystąpiło aż 20 dni pochmurnych przy dwukrotnie mniejszej średniej wieloletniej w tym miesiącu.

Dwa ekstremalne lata pod względem wielkości zachmurzenia, 1952 r. z maksymalnym zachmurzeniem i 1982 r. z minimalnym zachmurzeniem, okazały się także wyjątkowe na terenie innych miast w Polsce (Żmudzka 2005, 2007). Według

Tab. 3. Średnia miesięczna i maksymalna liczba dni całkowicie zachmurzonych w Krakowie (1951–2012)

Table 3. Mean monthly and maximum number of overcast days in Krakow (1951–2012)

Dni całkowicie zachmurzone Overcast days	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Suma Total
Średnia Mean	10	8	7	6	5	4	3	3	4	5	10	11	75
Max	19	25	19	15	11	9	7	8	13	14	21	20	131
Rok / Year	1953	1952	1964	1954	1975	1956	1960	1985	1996	1974	1958	1969, 1995	1952

Kalendarza nefologicznego drugiej połowy XX w., sporządzonego na podstawie terminowych danych z 48 stacji (Żmudzka 2007) w wymienionych latach, jako jedynych w wieloleciu, trzy miesiące zaliczono do skrajnie pochmurnych (1952 r.) i tyle samo do skrajnie pogodnych (1982 r.).

## Rodzaje chmur

Na podstawie średnich wartości z lat 1951–2012 największy udział w zachmurzeniu Krakowa mają chmury *Altostratus* i *Stratocumulus* (tab. 4). Chmury te stanowią dominujący rodzaj zachmurzenia w Polsce (Warakomski 1961) związany z masami powietrza polarne morskiego i frontami chłodnymi. Podobnie jak na innych stacjach (Wibig 2008) także w Krakowie najrzadziej widoczne są chmury *Cirrocumulus*, *Cirrostratus* i *Cumulonimbus*.

W poszczególnych latach procentowy udział rodzajów chmur ulegał zmianom. Rok z najmniejszym zachmurzeniem w wieloleciu – 1982, charakteryzował się zdecydowanie częstszym występowaniem nieba bezchmurnego oraz mniejszym udziałem chmur warstwowych wszystkich pięter niż w latach 1951–2012 (tab. 4).

Tab. 4. Średni udział procentowy rodzajów chmur w Krakowie w wieloleciu 1951–2012 oraz w wybranych latach (1952, 1982, 2006)

Table 4. Mean percentage share of cloud genera in Krakow in the years 1951–2012 and in the selected years (1952, 1982, 2006)

Rodzaje / Genera	Lata / Years			
	1951–2012	1952	1982	2006
Cl	10	8	10	12
Cc	2	4	1	4
Cs	3	6	2	2
Ac	18	9	19	18
As	10	10	6	5
Sc	19	15	20	23
St	11	21	9	5
Ns	5	12	3	3
Cu	12	9	11	16
Cb	3	1	3	3
Niebo bezchmurne / Clear sky	7	5	16	9

W najbardziej zachmurzonym roku – 1952, najczęściej występowały zazwyczaj całkowicie pokrywające niebo niskie chmury warstwowe: *Stratus*, *Stratocumulus* i *Nimbostratus*. Zasłaniały one chmury leżące wyżej oraz utrudniały rozwój konwekcji. Prawdopodobnie z tego powodu rzadziej niż zwykle widoczne były chmury *Alto cumulus* i *Cirrus*, a także *Cumulus* i *Cumulonimbus*. W 2006 r. o zachmurzeniu nad Krakowem decydowały w znacznym stopniu (57%) chmury *Stratocumulus*, *Alto cumulus* i *Cumulus*. Częściej niż średnio w wieloleciu obserwowano chmury *Cirrus*, mniej natomiast było *Altostratus* i *Stratus* (tab. 4). Taka struktura zachmurzenia spowodowała, że do powierzchni ziemi dopłynęło więcej promieniowania słonecznego, o czym świadczy największa w wieloleciu miesięczna liczba godzin ze słońcem w lipcu i grudniu 2006 r. (Matuszko 2009). Konsekwencją zwiększonego usłonecznienia związanego z przewagą udziału chmur kłębiastych i pierzastych był wzrost temperatury powietrza notowany w 2006 r. na wielu stacjach europejskich (Twardosz i Kossowska-Cezak 2013). W Krakowie średnia miesięczna temperatura powietrza chłodnej części 2006 r. należała do najwyższych w wieloleciu (Matuszko i Węglarczyk 2014). Wzrost temperatury powietrza w jesieni i zimie sprzyja rozwojowi chmur konwekcyjnych, powstawaniu burz i zwiększeniu liczby dni z tym groźnym zjawiskiem w ciągu roku.

## Chmury *Cumulonimbus* i burze

W Polsce do najbardziej niebezpiecznych zjawisk atmosferycznych należą burze, które bezpośrednio związane są z chmurą *Cumulonimbus*. Mimo że chmury te należą do najrzadziej występujących na niebie i jeszcze parę godzin przed ich pojawieniem się może być bezchmurnie, to zawierają jednak w sobie ogromną energię i mogą być bardzo niebezpieczne. Chmury *Cumulonimbus* stanowią średnio tylko 3% udziału zachmurzenia nad Krakowem (tab. 4). Powstają z niegroźnie wyglądających na błękitnym niebie chmur *Cumulus*, które przy słonecznej pogodzie, bardzo szybko zmieniają swą formę. Z białawych strzępów gatunku *fractus* przekształcają się w grubsze formy *mediocris*, a następnie pęcznieją i rozrastają się, tworząc *congestus*. Widok szybko rozbudowujących się chmur *Cumulus* powinien być dla wszystkich ostrzeżeniem przed możliwością wystąpienia burzy. Silna konwekcja, której wizualnym wskaźnikiem są chmury *Cumulus congestus* sygnalizuje, że istnieje gruba warstwa powietrza o chwiejnej równowadze. Jeśli warstwa taka jest dostatecznie duża, chmury *Cumulus congestus* mogą przekształcić się w *Cumulonimbus*.

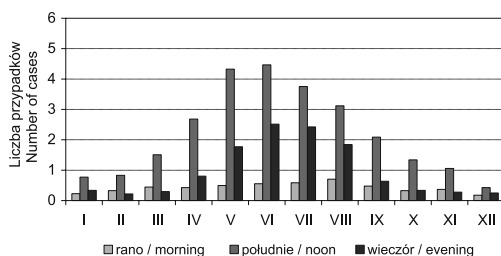
Przebieg roczny i dzienny chmur *Cumulus* i *Cumulonimbus* spowodowany jest głównie zmianami insolacji, która warunkuje konwekcję. Im wcześniejszy jest wschód Słońca, tym wcześniej pojawiają się na niebie, a ich rozwój jest bardziej intensywny. W Krakowie chmury *Cumulonimbus* najczęściej pojawiają się w czerwcu, najrza-



dziej w grudniu (ryc. 2). *Cumulonimbus* bardzo rzadko występuje rano i wieczorem, najczęściej w południe. Powstaje nie tylko na drodze przekształcania się silnie rozbudowanych chmur *Cumulus*, ale także wskutek przeobrażenia się i rozbudowania części chmury *Altostratus* lub *Nimbostratus*.

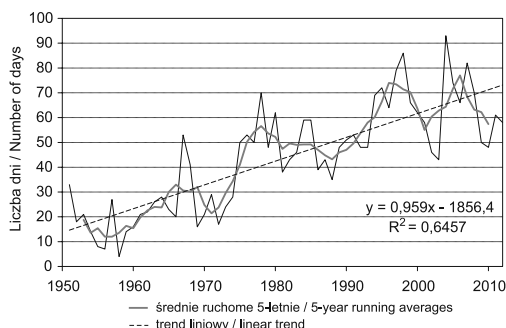
W Krakowie w ciągu roku występują średnio 44 dni z chmurą *Cumulonimbus*, lecz w badanym wieloleciu można zauważyć wyraźny wzrost liczby takich dni (ryc. 3). Na początku analizowanego okresu roczna liczba dni z *Cumulonimbus* wahała się około 20–30 dni, pod koniec przekraczała 50 dni, z wyjątkowo dużą ich częstotliwością w 1998 i 2004 r. (około 90 dni). O liczbie dni z chmurą burzową decydują głównie miesiące cieplej części roku, zwłaszcza maj, czerwiec, lipiec i sierpień. Na podkreślenie zasługuje jednak fakt widocznego w ostatnich latach wzrostu liczby dni z chmurą *Cumulonimbus* w chłodnej połowie roku, co niewątpliwie należy wiązać z większą częstotliwością występowania łagodnych zim (Piotrowicz 2003). Nasilenie rozwoju chmur *Cumulonimbus* w okresie zimowym nastąpiło od połowy lat 70. XX w., a wzrost częstotliwości występowania chmur konwekcyjnych od drugiej połowy XX w. zauważono nie tylko w Krakowie (Matuszko 2003), ale także w innych dużych miastach europejskich (Sun i in. 2001; Wibig 2008).

Rozwój chmury *Cumulonimbus* nie zawsze kończy się burzą. Jest warunkiem koniecznym do jej powstania, lecz nie wystarczającym. Wystąpienie burzy zależy od czynników termicznych i wilgotnościowych pionowej stratyfikacji



Ryc. 2. Przebieg roczny średniej liczby przypadków występowania chmury *Cumulonimbus* w terminach klimatologicznych w Krakowie (1951–2012)

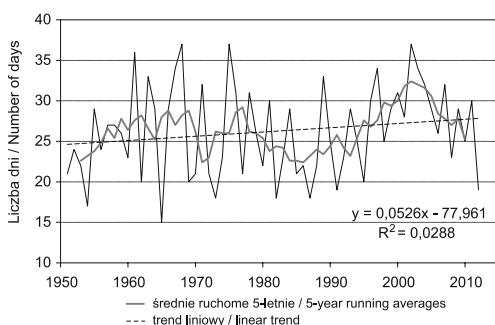
Fig. 2. Annual course of the mean number of cases of occurrence of the *Cumulonimbus* cloud at climatologic observation times in Krakow (1951–2012)



Ryc. 3. Przebieg wieloletni liczby dni z chmurą *Cumulonimbus* w Krakowie (1951–2012)

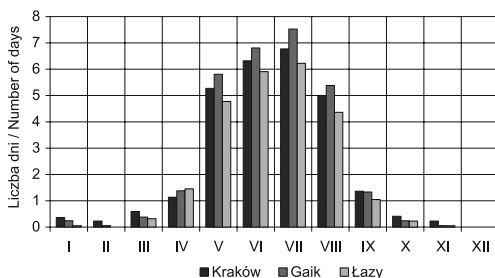
Fig. 3. Multi-annual course of the number of days with *Cumulonimbus* cloud in Krakow (1951–2012)

powietrza oraz sprzyjających warunków lokalnych (Bielec-Bąkowska i Matuszko 2004–2005). W analizowanym wieloleciu było w Krakowie około 30% więcej dni z chmurą *Cumulonimbus* niż z burzą. Przebieg wieloletni rocznej liczby dni z burzą ma tendencję rosnącą, lecz nie tak wyraźną jak przebieg dni z chmurą *Cumulonimbus*. Potwierdza to tezę, że wzrost temperatury powietrza w ostatnich latach sprzyja nasileniu konwekcji, lecz niekoniecznie doprowadzającej do wystąpienia burzy.



Ryc. 4. Przebieg wieloletni liczby dni z burzą w Krakowie (1951–2012)

Fig. 4. Multi-annual course of the number of days with thunderstorms in Krakow (1951–2012)



Ryc. 5. Przebieg roczny liczby dni z burzą w Krakowie, Gaiku i Łazach w latach 1991–2012

Fig. 5. Annual course of the number of days with thunderstorms in Krakow, Gaik and Łazy in the years 1991–2012

Wyniki obserwacji wykonanych w latach 1991–2012 na trzech stacjach naukowych Instytutu Geografii i Gospodarki Przestrzennej Uniwersytetu Jagiellońskiego w Krakowie, Gaiku-Brzezowej i Łazach pozwalają stwierdzić, że zdecydowaną większość (około 90%) analizowanych dni z burzą zanotowano przynajmniej na dwóch spośród trzech badanych stacji. Najwięcej burz wystąpiło w Gaiku-Brzezowej (średnio w roku 28,9 dni). Jedynie w chłodnej części roku (od października do marca) burze występują częściej w Krakowie niż na pozostałych stacjach (ryc. 5). Może to wskazywać na antropogeniczne pochodzenie burz, ponieważ sztuczne ciepło emitowane przez miasto, szczególnie w okresie grzewczym może być przyczyną wzmożenia konwekcji. Na podstawie średniej liczby dni z burzą z trzech stacji najwięcej dni z tym zjawiskiem (35 dni w roku) wystąpiło w 2002 r. Wtedy także w Krakowie wystąpiła maksymalna liczba dni z burzą (37 dni w roku), lecz nie był to jedyny taki burzowy rok w wieloleciu, bo tyle samo dni z burzą zanotowano w 1968 i 1975 r. (ryc. 4). Ostatnie lata nie były zatem ekstremalne pod względem liczby

burz. W Krakowie w całym wieloleciu najmniej dni z burzą (14) wystąpiło w 1921 r. (Matuszko 2007). Był to rok wyjątkowy także pod względem wielkości zachmurzenia (średnie roczne – 57%) i liczby dni pogodnych (78), a w marcu tego roku wystąpiło absolutne w wieloleciu (1901–2012) miesięczne minimum zachmurzenia (32%).

Miejsce wystąpienia zjawisk ekstremalnych związanych z burzą, takich jak ulewy, gradobicia lub trąby powietrzne jest trudne do przewidzenia, ponieważ burze są zjawiskiem lokalnym, często o zasięgu tylko kilku kilometrów. Synoptyk bez trudu może zidentyfikować obszary o wyraźnej chwiejności atmosfery, wyznaczyć poziom kondensacji, swobodnej konwekcji, dziennego nagrzania, kierunku wiatru na różnych poziomach. Na podstawie zdjęć radarowych może śledzić kierunek przemieszczania się strefy burzowej i ustalić prawdopodobieństwo groźnych zjawisk pogodowych dla większego obszaru, szczególnie w przypadku przechodzenia frontów atmosferycznych, nie ma jednak możliwości wskazania konkretnego miejsca i czasu wystąpienia każdej burzy. Trudność ta dotyczy zwłaszcza burz wewnątrzmasowych, które stanowią średnio około 30% burz w Polsce i powstają po kilkudniowym okresie utrzymywania się pogody antycyklonalnej nad obszarem kraju (Kolendowicz 1998; Bielec-Bąkowska 2002).

## Podsumowanie

Zachmurzenie jest jednym z ważniejszych elementów meteorologicznych odzwierciedlających stan atmosfery, a zarazem oddziałującym na temperaturę, wilgotność powietrza i opady. Pomimo że stopień zachmurzenia i jego skład rodzajowy zazwyczaj nie jest uwzględniany w opracowaniach dotyczących ekstremalnych zjawisk pogodowych, to może być ważną przesłanką w prognozowaniu takich zdarzeń oraz pomóc w wyjaśnieniu mechanizmów ich powstania.

Obserwowane w drugiej połowie XX w. ocieplenie klimatu spowodowało zmiany w zachmurzeniu zarówno pod względem ilościowym, jak i jakościowym (Matuszko i Węglarczyk 2014). Zmniejszyła się wielkość zachmurzenia, wzrósł udział chmur konwekcyjnych, a spadła częstość występowania chmur warstwowych (Matuszko 2003; Wibig 2008). Konsekwencją tych zmian jest mniejsza liczba dni pochmurnych i całkowicie zachmurzonych oraz krótsze ciągi takich dni. Mniejsze zachmurzenie, więcej dni pogodnych oraz przewaga chmur o budowie pionowej powodują większy dopływ promieniowania słonecznego do powierzchni ziemi (Matuszko 2014). Bardziej ogrzana powierzchnia czynna prowadzi do zwiększenia tempa parowania i nasilenia konwekcji. Tworzy się znacznie więcej chmur *Cumulonimbus* niż w pierwszej połowie XX w. i coraz częściej występują one także w chłodnej połowie roku (Matuszko 2009). Zauważono jednak, że większa częstość występowania chmur *Cumulonimbus* nie wywołuje takiego samego tempa wzrostu liczby burz. Jest ich

tylko nieco więcej niż na początku ubiegłego stulecia. Ocieplenie klimatu powoduje nasilenie konwekcji prowadzącej do tworzenia się chmur *Cumulonimbus*, z których nie zawsze powstaje burza. Mimo postępu nauki i rozwoju techniki nadal bardzo trudno przewidzieć konkretne miejsce wystąpienia burzy, bo oprócz sytuacji synoptycznej jej powstanie zależy także od czynników lokalnych i dopiero istnienie złożonych warunków meteorologicznych i procesów fizycznych może ją wywołać (Kolendowicz 1998; Bielec-Bąkowska 2002; Matuszko 2007).

## Literatura

- Bielec-Bąkowska Z., 2002, *Zróżnicowanie przestrzenne i zmienność wieloletnia występowania burz w Polsce*, Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego, Katowice.
- Bielec-Bąkowska Z., Matuszko D., 2004–2005, *Warunki meteorologiczne sprzyjające występowaniu burz w Krakowie i okolicach*, [w:] W. Chełmicki (red.), *Meteorologiczne, hydrologiczne i geomorfologiczne zjawiska ekstremalne w południowej Polsce*, Folia Geographica ser. Geographica-Physica, 35–36, 113–131.
- Błażejczyk K., Kunert A., 2011, *Bioklimatyczne uwarunkowania rekreacji i turystyki w Polsce*, Warszawa, PAN IGiPZ, Wyd. 2, Monografie, 13.
- Celiński-Mysław D., Matuszko D., 2014, *An analysis of selected cases of derecho in Poland*, Atmospheric Research, 149, 263–281.
- Jaferník K., Wilczek Z., Ziarko J., 2000, *Meteorologiczna osłona działań lotnictwa*, Bellona, Warszawa.
- Kaszewski B.M., 1983, *Próba wydzielenia naturalnych okresów synoptycznych na podstawie częstości typów cyrkulacji nad Polską*, Przegląd Geofizyczny, 28, 2, 195–207.
- Kaszewski B.M., Flis E., 2014, *Meteorologiczne i klimatologiczne zdarzenia ekstremalne w polskiej literaturze*, Prace Geograficzne, 139, 7–20.
- Kolendowicz L., 1998, *Zjawiska burzowe w Polsce a warunki synoptyczne*, Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań.
- Kossowska-Cezak U., 2004, *Porozmawiajmy o... „Monsunie europejskim“*, Gazeta Obserwatora IMGW, 6, 20–22.
- Koźmiński Cz., 1968, *Studia nad opadami gradu i wyrządzonymi przez nie szkodami w zbożach na terenie Wyżyny Małopolskiej*, Wyższa Szkoła Rolnicza w Szczecinie, Rozprawy, 8, 1–65.
- Koźmiński Cz., Rytel M., 1963, *Próba wykreślenia izarytm prawdopodobieństwa wystąpienia burz gradowych w Polsce na podstawie lat 1947–1960*, Czasopismo Geograficzne, 34 (1), 51–60.
- Lorenc H., Cebulak E., Głowicki B., Kowalewski M., 2012, *Struktura występowania intensywnych opadów deszczu powodujących zagrożenie dla społeczeństwa, środowiska i gospodarki Polski*, [w:] H. Lorenc (red.), *Klęski żywiołowe a bezpieczeństwo wewnętrzne kraju*, IMGW, Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa, 7–32.

- Matuszko D., 2003, *Cloudiness changes in Cracow in the 20<sup>th</sup> Century*, International Journal of Climatology, 23, 8, 975–984.
- Matuszko D., 2006, *O problemach terminologicznych z zakresu zachmurzenia*, [w:] K. Migąła, P. Ropuszyński (red.), *Współczesna meteorologia i klimatologia w geografii i ochronie środowiska*, Wrocław, 87–95.
- Matuszko D., 2007, *Groźne zjawiska towarzyszące burzom w Krakowie i okolicach*, [w:] J. Szkutnicki, U. Kossowska-Cezak, E. Bogdanowicz, M. Ceran (red.), *Cywilizacja i żywioły*, PTGeof., IMGW, Warszawa, 78–83.
- Matuszko D., 2009, *Wpływ zachmurzenia na usłonecznienie i całkowite promieniowanie słoneczne (na przykładzie krakowskiej serii pomiarów)*, Wydawnictwo Uniwersytetu Jagiellońskiego, Kraków.
- Matuszko D., Piotrowicz K., 2012, *Ekstremalne zdarzenia pogodowe w Krakowie i ich uwarunkowania cyrkulacyjne*, [w:] Z. Bielec-Bąkowska, E. Łupikasz, A. Widawski (red.), *Rola cyrkulacji atmosfery w kształtowaniu klimatu*, Wydział Nauk o Ziemi UŚ, Sosnowiec, 211–218.
- Matuszko D., 2014, *Long-term variability in solar radiation in Krakow based on measurements of sunshine duration*, International Journal of Climatology, 34, 228–234.
- Matuszko D., Węglarczyk S., 2014, *Effect of cloudiness on long-term variability in air temperature in Krakow*, International Journal of Climatology, 34, 145–154.
- Niedźwiedz T., 1981, *Sytuacje synoptyczne i ich wpływ na zróżnicowanie przestrzenne wybranych elementów klimatu w dorzeczu górnej Wisły*, Rozprawy Habilitacyjne UJ, 58, Kraków.
- Piotrowicz K., 2003, *Variability of the Central European winter thermal structure*, Acta Universitatis Wratislaviensis 2542, 75, 108–115.
- Preś J., 2007, *Zarządzanie ryzykiem pogodowym*, CeDeWu, Warszawa.
- Radomski Cz., 1980, *Agrometeorologia*, PWN, Warszawa.
- Słownik meteorologiczny*, 2003, T. Niedźwiedz (red.), PTGeof./IMGW, Warszawa.
- Sun B., Groisman P.Ya., Mikhov I.I., 2001, *Recent changes in cloud-type frequency and inferred increases in convection over the United States and the Former USSR*, Journal of Climate, 14, 1864–1880.
- Twardosz R., Kossowska-Cezak U., 2013, *Exceptionally hot summers in Central and Eastern Europe (1951–2010)*, Theoretical and Applied Climatology, 112, 617–628.
- Warakowski W., 1961, *Częstotliwość występowania rodzajów chmur w Polsce w okresie 1950–1959*, Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska, 11, Sec. B, 207–256.
- Warakowski W., 1997, *Problemy z klasyfikacją i przewidywaniem pogodowych zjawisk ekstremalnych*, [w:] *Ekstremalne zjawiska meteorologiczne, hydrologiczne i oceanograficzne*, Sympozjum Jubileuszowe PTG, Warszawa, 12–14 listopada, 169–174.
- Wibig J., 2008, *Cloudiness variations in Łódź in the second half of the 20<sup>th</sup> century*, International Journal of Climatology, 28, 4, 479–491.

Żmudzka E., 2005, *Anomalne wielkości zachmurzenia w Polsce a cyrkulacja atmosferyczna (1951–2000)*, [w:] E. Bogdanowicz, U. Kossowska-Cezak, J. Szkutnicki (red.), *Ekstremalne zjawiska hydrologiczne i meteorologiczne*, PTGeof., seria Monografie IMGW, Warszawa, 403–415.

Żmudzka E., 2007, *Zmienność zachmurzenia nad Polską i jej uwarunkowania cyrkulacyjne*, Wydawnictwa Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa.

*Dorota Matuszko*

*Uniwersytet Jagielloński*

*Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej*

*ul. Gronostajowa 7, 30-387 Kraków*

*e-mail: d.matuszko@uj.edu.pl*